

POLISHING METHOD AND POLISHING APPARATUS

Patent Number: JP2003071708
Publication date: 2003-03-12
Inventor(s): MIYAZAWA TATSUO; NAGAI HIROYUKI
Applicant(s): SONY CORP
Requested Patent: JP2003071708
Application Number: JP20010267188 20010904
Priority Number(s):
IPC Classification: B24B37/04; B24B49/03; H01L21/304
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a polishing method and a polishing apparatus which are not dependent on a skill of an operator and may adequately prevent dishing and erosion from generating, improve polishing rates, and obtain a stable and high machining precision.

SOLUTION: The polishing method for polishing a polishing object in such a way that a polishing pad and a polishing surface of the polishing object are relatively moved in a predetermined direction so as to render the polishing surface even. Plural polishing objects in kind are prepared as specimens. Polishing is carried out in a condition where a machining start position is displaced in turn for each specimen so as to obtain polishing characteristic in each machining position. According to the obtained characteristic of the polishing pad in each machining position, a polishing result is estimated so as to prepare a new machining condition to be fed back to next polishing. (ST1-ST9).

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-71708

(P2003-71708A)

(43)公開日 平成15年3月12日(2003.3.12)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
B 2 4 B 37/04		B 2 4 B 37/04	K 3 C 0 3 4
			D 3 C 0 5 8
49/03		49/03	Z
H 0 1 L 21/304	6 2 2	H 0 1 L 21/304	6 2 2 R
			6 2 2 X
審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 21 頁)			

(21)出願番号 特願2001-267188(P2001-267188)

(22)出願日 平成13年9月4日(2001.9.4)

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72)発明者 宮澤 達雄

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72)発明者 長井 博之

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74)代理人 100094053

弁理士 佐藤 隆久

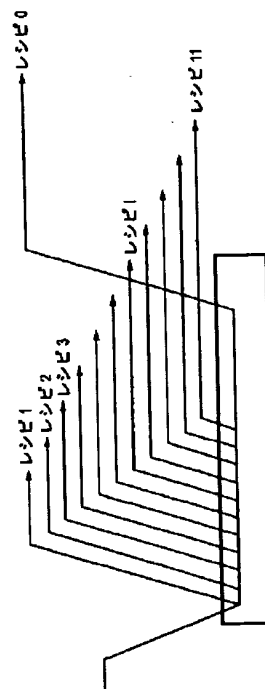
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 研磨方法および研磨装置

(57)【要約】

【課題】作業者の技能により左右されことなく、的確にディッシングやエロージョンなどの発生を防止でき、研磨レートを向上させることができ、安定して高い加工精度を得ることができる研磨方法および研磨装置を提供する。

【解決手段】研磨パッドと被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨方法であって、複数の同種の被研磨対象を試料として用意し、各試料毎に加工開始位置を順次ずらした加工条件により、研磨を行い、各加工位置における研磨特性を得、得られた研磨パッドの各加工位置での加工特性から、研磨結果を予測し、新たな加工条件を調整し、次の研磨にフィードバックする(ST1~ST9)。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 研磨手段と被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨方法であって、
複数の同種の被研磨対象を試料として、各試料毎に研磨加工の開始位置を順次ずらした加工条件により研磨を行い、
研磨結果に基づいて各加工位置における研磨特性を得、
得られた研磨手段の各加工位置での加工特性から研磨結果を予測し、
予測結果に基づいて新たな加工条件を調整し、調整した研磨条件を次の研磨の条件にフィードバックする研磨方法。

【請求項2】 研磨手段の各加工位置における研磨特性を、研磨手段の送り速度、回転数、切り込み量、被研磨対象の回転数の加工条件より予測する請求項1記載の研磨方法。

【請求項3】 研磨後の被研磨対象の被研磨面膜厚の測定結果と、研磨結果の予測値とを比較して加工条件を調整し、次の研磨にフィードバックする請求項1記載の研磨方法。

【請求項4】 前記加工条件の調整を、研磨特性が線形に変化する研磨手段の送り速度に基づいて行う請求項1記載の研磨方法。

【請求項5】 各試料毎に、研磨手段の中心位置と、被研磨対象の回転中心との中心間距離を変化させつつ研磨を行う請求項1記載の研磨方法。

【請求項6】 所定の中心間距離を研磨加工の開始位置とし、各試料毎に当該開始位置から研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する距離が順次に長くなるようにして、各試料の研磨加工を行う請求項5記載の研磨方法。

【請求項7】 研磨加工の開始位置より終了位置までの区間をN個の小区間 ($1 \leq i \leq N$) に区分し、各試料毎に研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する小区間数が異なるようにして、各試料の研磨加工を行う請求項6記載の研磨方法。

【請求項8】 被研磨面の膜厚が所望の値にならなかった場合、各小区間にける研磨手段の送り速度 V_0^i から V^i に変化させる請求項7記載の研磨方法。

【請求項9】 隣接小区間間の研磨手段の送り速度の差を一定値以下に制限する請求項8記載の研磨方法。

【請求項10】 研磨加工の開始位置と被研磨対象の回転中心との間に複数の制御点を設け、制御点の小区間のうちの任意の一つの送り速度 V_c^k の値を微小変化させ、変化前と変化後の誤差関数 Err の値 $Err(V^i)$ と $Err(V^i \pm \Delta V^i)$ を比較し、値が小さくなっていれば $V_c^k \pm \Delta V_c^k$ を新たな V_c^k の値とする請求項7記載の研磨方法。

【請求項11】 すべての制御点の V_c^k を微小変化させても、誤差関数 Err の値が変化しなくなった時点

で、処理を終了する請求項10記載の研磨方法。

【請求項12】 上記被研磨対象は半導体のウェハである請求項1記載の研磨方法。

【請求項13】 研磨手段と被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨装置であって、
複数の同種の被研磨対象を試料として、各試料毎に研磨加工の開始位置を順次ずらした加工条件により研磨を行った研磨結果に基づいて各加工位置における研磨特性を得、得られた研磨手段の各加工位置での加工特性から研磨結果を予測し、予測結果に基づいて新たな加工条件を調整し、調整した研磨条件を次の研磨の条件にフィードバックする制御手段を有する研磨装置。

【請求項14】 上記制御手段は、研磨手段の各加工位置における研磨特性を、研磨手段の送り速度、回転数、切り込み量、被研磨対象の回転数の加工条件より予測する請求項13記載の研磨装置。

【請求項15】 上記制御手段は、研磨後の被研磨対象の被研磨面膜厚の測定結果と、研磨結果の予測値とを比較して加工条件を調整し、次の研磨にフィードバックする請求項13記載の研磨装置。

【請求項16】 上記制御手段は、前記加工条件の調整を、研磨特性が線形に変化する研磨手段の送り速度に基づいて行う請求項13記載の研磨装置。

【請求項17】 上記制御手段は、各試料毎に、研磨手段の中心位置と、被研磨対象の回転中心との中心間距離を変化させつつ研磨を行う請求項13記載の研磨装置。

【請求項18】 上記制御手段は、所定の中心間距離を研磨加工の開始位置とし、各試料毎に当該開始位置から研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する距離が順次に長くなるようにして、各試料の研磨加工を行う請求項17記載の研磨装置。

【請求項19】 上記制御手段は、研磨加工の開始位置より終了位置までの区間をN個の小区間 ($1 \leq i \leq N$) に区分し、各試料毎に研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する小区間数が異なるようにして、各試料の研磨加工を行う請求項18記載の研磨装置。

【請求項20】 上記制御手段は、被研磨面の膜厚が所望の値にならなかった場合、各小区間にける研磨手段の送り速度 V_0^i から V^i に変化させる請求項19記載の研磨装置。

【請求項21】 上記制御手段は、隣接小区間間の研磨手段の送り速度の差を一定値以下に制限する請求項20記載の研磨装置。

【請求項22】 上記制御手段は、研磨加工の開始位置と終了位置との間に複数の制御点を設け、制御点の小区間のうちの任意の一つの送り速度 V_c^k の値を微小変化させ、変化前と変化後の誤差関数 Err の値 $Err(V^i)$ と $Err(V^i \pm \Delta V^i)$ を比較し、値が小さくなっていれば $V_c^k \pm \Delta V_c^k$ を新たな V_c^k の値とする

請求項19記載の研磨装置。

【請求項23】 上記制御手段は、すべての制御点の V_k を微小変化させても、誤差関数 E_{rr} の値が変化しなくなった時点で、処理を終了する請求項22記載の研磨装置。

【請求項24】 上記被研磨対象は半導体のウェハである請求項13記載の研磨装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、たとえば半導体ウェハの表面に形成されたメッキ膜や絶縁膜を平坦に研磨する研磨方法および研磨装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体装置の高集積化、小型化に伴い、配線の微細化、配線ピッチの縮小化および配線の多層化が進んでおり、半導体装置の製造プロセスにおける多層配線技術の重要性が増大している。一方、従来、多層配線構造の半導体装置の配線材料としてアルミニウムが多用されてきたが、近年の $0.18\mu\text{m}$ ルール以下のデザインルールにおいて、信号の伝搬遅延を抑制するために、配線材料をアルミニウムから銅に代えた配線プロセスの開発が盛んに行われている。銅を配線に使用すると、低抵抗と高エレクトロマイグレーション耐性を両立できるというメリットがある。

【0003】たとえば銅を配線に使用するプロセスでは、あらかじめ層間絶縁膜に形成した溝状の配線パターンに金属を埋め込み、CMP (Chemical Mechanical Polishing: 化学機械研磨) 法によって余分な金属膜を除去して配線を形成する、ダマシン (damascene) 法と呼ばれる配線プロセスが有力となっている。このダマシン法は、配線のエッチングが不要であり、さらに上層の層間絶縁膜も自ずと平坦なものになるので、工程を簡略化できるという利点がある。さらに、層間絶縁膜に配線用溝だけでなく、コンタクトホールも溝として開け、配線用溝とコンタクトホールを同時に金属で埋め込むデュアルダマシン (dual damascene) 法では、さらに大幅な配線工程の削減が可能となる。

【0004】ここで、上記のデュアルダマシン法による配線形成プロセスの一例について下記の図を参照して説明する。なお、配線材料として銅を用いた場合について説明する。

【0005】まず、図18(a)に示すように、たとえば、不図示の不純物拡散領域が適宜形成されているシリコン等の半導体基板1上に、たとえば酸化シリコンからなる層間絶縁膜2を、たとえば減圧CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により形成する。

【0006】次に、図18(b)に示すように、半導体基板1の不純物拡散領域に通じるコンタクトホールCH、および半導体基板1の不純物拡散領域と電氣的に接続される所定のパターンの配線が形成される溝Mを公知

のフォトリソグラフィ技術およびエッチング技術を用いて形成する。

【0007】次に、図18(c)に示すように、バリア膜3を層間絶縁膜2の表面、コンタクトホールCHおよび溝M内に形成する。このバリア膜3は、たとえば、Ta、Ti、Ta₂N、TiN等の材料を公知のスパッタ法により形成する。バリア膜3は、配線を構成する材料が銅で層間絶縁膜2が酸化シリコンで構成されている場合には、銅は酸化シリコンへの拡散係数が大きく、酸化されやすいため、これを防止するために設けられる。

【0008】次に、図19(d)に示すように、バリア膜3上に、銅を公知のスパッタ法により所定の膜厚で堆積させ、シード膜4を形成する。次に、図19(e)に示すように、コンタクトホールCHおよび溝Mを銅で埋め込むように、銅膜5を形成する。銅膜5は、たとえば、メッキ法、CVD法、スパッタ法等により形成する。

【0009】次に、図19(f)に示すように、層間絶縁膜2上の余分な銅膜5およびバリア膜3をCMP法によって除去し、平坦化する。以上の工程により、銅配線6およびコンタクト7とが形成される。上記したプロセスを配線6上で繰り返すことにより、多層配線を形成することができる。

【0010】上述した研磨工程においては、平坦化研磨装置が用いられる。図20は、従来の平坦化研磨装置の概略を示す斜視図である。この平坦化研磨装置20は、研磨布21が上面に貼られた回転可能な円盤状の定盤22と、ウェハ1を下面で保持する回転可能であって、上下動可能な円盤状のマウント板23と、研磨布21上に研磨液Pを供給するノズル24を備えている。

【0011】このような構成において、まず、積層配線パターン用銅膜5が形成されているウェハ1の表面を下に向けて、ウェハ1の裏面をマウント板23の下面に接着あるいは真空吸着させる。次に、定盤22とマウント板23を回転させると共に、ノズル24から研磨布21上に研磨液Pを供給する。そして、マウント板23を下降させて、ウェハ1の表面を研磨布21上に押し付け、ウェハ1の表面に形成されている積層配線パターン用銅膜5を研磨する。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の平坦化研磨装置20による積層配線パターン用銅膜5の研磨量は、時間管理されているため不安定であり、研磨終了後でないと正確な研磨量が判らないという欠点がある。また、研磨精度も、研磨布21の状態等により変化するので不安定であり、作業者の経験や勘を頼りにしなければならないという問題がある。

【0013】それに加えて、層間絶縁膜2と、銅膜5およびバリア膜3との除去性能が異なることから、配線6にディッシング、エロージョン (シンニング)、リセス

等が発生しやすいという問題がある。

【0014】ディッシングは、図21(a)に示すように、たとえば、 $0.18\mu\text{m}$ ルールのデザインルールにおいて、たとえば、 $100\mu\text{m}$ 程度のような幅の広い配線7が存在した場合に、当該配線の中央部が過剰に除去され、へこんでしまう現象であり、このディッシングが発生すると配線6の断面積が不足するため、配線抵抗値不良等の原因となる。このディッシングは、配線材料に比較的軟質の銅やアルミニウムを用いた場合に発生しやすい。

【0015】エロージョンは、図21(b)に示すように、たとえば、 $3000\mu\text{m}$ の範囲に $1.0\mu\text{m}$ の幅の配線が50パーセントの密度で形成されているようなパターン密度の高い部分が過剰に除去されてしまう現象であり、エロージョンが発生すると、配線の断面積が不足するため、配線抵抗値不良等の原因となる。

【0016】リセスは、図21(c)に示すように、層間絶縁膜2と配線6との境界で配線6が低くなり段差ができてしまう現象であり、この場合にも配線の断面積が不足するため、配線抵抗値の不良等の原因となる。

【0017】一方、特にダマシン法またはデュアルダマシン法では、配線用溝、または配線用溝およびコンタクトホールを同時に銅で埋め込むため、余分な銅膜6の膜厚が大きく、かつ銅膜表面には埋め込みによって生じた凹凸があることから、余分な銅膜5をCMP法によって、効率的に除去しつつ、当該初期段差を緩和する必要がある。したがって、単位時間当たりの除去量である研磨レートは、たとえば、 $500\text{nm}/\text{min}$ 以上となるように要求されており、この研磨レートを稼ぐためには、ウェハに対する加工圧力を大きくしたり、エッチング力の強い薬液を用いたり、研磨工具の回転数を上げたりすることが考えられるが、いずれの場合でも精度面では、上記の方法で研磨レートを向上しようとする、段差緩和能力(平坦化能力)が低下することが知られている。

【0018】また、図22に示すように、配線表面にスクラッチSCやケミカルダメージCDが発生しやすくなり、特に、軟質の銅では発生しやすい。このため、配線のオープン、ショート、配線抵抗値不良等の不具合の原因となり、また、上記の方法で研磨レートを向上しようすると、上記のクラック、層間絶縁膜の剥離、ディッシング、エロージョンおよびリセスの発生量も大きくなるという不利益がある。

【0019】また、研磨布21の状態等の変化に起因する不安定性をなくし、作業者の経験や勘を頼りにする部分を可能な限り少なくするためにCMP加工において、その硬質研磨ホイールによる優れた平坦化性能を得、ソフトウエア制御によるいわゆるスキルレスな均一性補正を実現しようとする研磨装置が実現されている。

【0020】ところが、この装置における均一性補正

は、結局、作業者の経験と勘によるところが大きく、いわゆるレシピ作成にはかなりの熟練を要しているのが実状である。これは、円形のウェハに対してリング状のホイールを、部分的に接触させて除去するという加工法が、純粋な部分加工ではなく、ある面積を持ってしまっていることから、除去量を部分的に補正するためのレシピ調整がイメージしにくいことが原因である。

【0021】加えて、熟練した作業者においても、主軸の傾斜を変化させたりすると、補正時に現れる結果が予想せぬ状態であったりということが多く、均一性補正に関しては、各種入力パラメータに対する除去量の変化が、未だ定量的に関連付けされていないのが現状である。

【0022】すなわち、従来の研磨装置では、ウェハ連続処理時の均一性の向上、維持に対して、各種加工パラメータは作業者の経験からくる予測などにより変更・補正を繰り返す必要がある、デバイス製造上のプロセスマージンが装置システムの決定されるのではなく、作業者の技能により左右される。

【0023】また、従来の研磨装置では、研磨パッドが被研磨対象の一部を摺接しながら研磨を行うため、局所的な研磨の補正が可能である。しかしその反面、その補正を行うに当たって、プロセスのノウハウを必要とし、加工条件を決定することが困難であった。また、加工条件を物理的な現象と捉えたシミュレーションで行うには、不確定要素が多く、誤差も少なくない。

【0024】本発明は、かかる事情に鑑みてなされたものであり、その目的は、作業者の技能により左右されることがなく、被研磨対象上の膜厚の均一性向上させることができ、安定して高い加工精度を得ることができる研磨方法および研磨装置を提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明は、研磨手段と被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨方法であって、複数の同種の被研磨対象を試料として、各試料毎に研磨加工の開始位置を順次ずらした加工条件により研磨を行い、研磨結果に基づいて各加工位置における研磨特性を得、得られた研磨手段の各加工位置での加工特性から研磨結果を予測し、予測結果に基づいて新たな加工条件を調整し、調整した研磨条件を次の研磨の条件にフィードバックする。

【0026】また、本発明は、研磨手段と被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨装置であって、複数の同種の被研磨対象を試料として、各試料毎に研磨加工の開始位置を順次ずらした加工条件により研磨を行った研磨結果に基づいて各加工位置における研磨特性を得、得られた研磨手段の各加工位置での加工特性から研磨結果を予測し、予測結果に基づいて新たな加工条件を調整し、調整

した研磨条件を次の研磨の条件にフィードバックする制御手段を有する。

【0027】本発明では、研磨手段の各加工位置における研磨特性を、研磨手段の送り速度、回転数、切り込み量、被研磨対象の回転数の加工条件より予測する。

【0028】また、本発明では、研磨後の被研磨対象の被研磨面膜厚の測定結果と、研磨結果の予測値とを比較して加工条件を調整し、次の研磨にフィードバックする。

【0029】また、本発明では、前記加工条件の調整を、研磨特性が線形に変化する研磨手段の送り速度に基づいて行う。

【0030】また、本発明では、各試料毎に、研磨手段の中心位置と、被研磨対象の回転中心との中心間距離を変化させつつ研磨を行う。

【0031】また、本発明では、所定の中心間距離を研磨加工の開始位置とし、各試料毎に当該開始位置から研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する距離が順次に長くなるようにして、各試料の研磨加工を行う。

【0032】また、本発明では、研磨加工の開始位置より終了位置までの区間をN個の小区間 ($1 \leq i \leq N$) に区分し、各試料毎に研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する小区間数が異なるようにして、各試料の研磨加工を行う。

【0033】また、本発明では、被研磨面の膜厚が所望の値にならなかった場合、各小区間にける研磨手段の送り速度 V_0^i から V^i に変化させる。

【0034】また、本発明では、隣接小区間間の研磨手段の送り速度の差を一定値以下に制限する。

【0035】また、本発明では、研磨加工の開始位置と終了位置 (たとえば被研磨対象の回転中心) との間に複数の制御点を設け、制御点の小区間のうちの任意の一つの送り速度 V_k の値を微小変化させ、変化前と変化後の誤差関数 Err の値 $Err(V^i)$ と $Err(V^i \pm \Delta V^i)$ を比較し、値が小さくなっていけば $V_k \pm \Delta V_k$ を新たな V_k の値とする。

【0036】また、本発明では、すべての制御点の V_k を微小変化させても、誤差関数 Err の値が変化しなくなった時点で、処理を終了する。

【0037】また、本発明では、上記被研磨対象は半導体のウェハである。

【0038】本発明によれば、複数の同種の被研磨対象、たとえば半導体ウェハを試料として、各試料毎に研磨加工の開始位置を順次ずらした加工条件により研磨を行う。たとえば、研磨加工の開始位置より終了位置までの区間をN個の小区間に区分し、各試料毎に研磨手段が被研磨対象の被研磨面を摺接する小区間数が異なるようにして、各試料の研磨加工を行う。次いで、この研磨結果に基づいて各加工位置における研磨特性を得る。そして、得られた研磨手段の各加工位置での加工特性から研

磨結果を予測する。次に、予測結果に基づいて新たな加工条件を調整し、調整した研磨条件を次の研磨の条件にフィードバックする。なお、加工条件の調整は、たとえば研磨特性が線形に変化する研磨手段の送り速度に基づいて行う。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を添付図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下に述べる実施の形態は、本発明の好適な具体例であるから、技術的に好ましい種々の限定が付されているが、本発明の範囲は、以下の説明において特に本発明を限定する旨の記載がない限り、これらの形態に限られるものではない。

【0040】図1は、本発明に係る研磨方法を採用した平坦化研磨装置の一実施形態の全体構成を模式的に示す平面図である。

【0041】この平坦化研磨装置100は、被研磨対象のウェハ101が投入されるカセットポート110、このカセットポート110から取出されたウェハ101を位置決めするハンドリングシステム120、このハンドリングシステム120で位置決めされたウェハ101を化学的機械研磨するポリッシングヘッド130およびポリッシングヘッド130で化学的機械研磨されたウェハ101を洗浄するクリーナ140で大略構成されている。なお、各部間のウェハ101の搬送は、図示しないロボットにより行われるようになっている。

【0042】このような構成において、平坦化研磨装置100内における通常の研磨工程について説明する。まず、複数枚のウェハ101が、カセット102内に並列に収納され、このカセット102が、カセットポート110にセットされる。そして、1枚のウェハ101が、カセット102から取出されて、ハンドリングシステム120に搬送される。

【0043】搬送されてきたウェハ101は、コンベア121で位置決め部122に移送されて、センタリングおよびオリフラ合わせが行われ、再びコンベア121で元の位置まで移送される。再移送されてきたウェハ101は、ポリッシングヘッド130に搬送される。搬送されてきたウェハ101は、バッファ131に一旦投入された後、加工部132にセットされて後述するように研磨状態が測定されながら化学的機械研磨される。研磨が完了したウェハ101は、ウェットステーション133に一旦取出された後、クリーナ140に搬送される。

【0044】搬送されてきたウェハ101は、薬剤を洗浄するために洗浄部141を通された後、洗浄液を乾燥させるために乾燥部142へ移送される。そして、乾燥が完了したウェハ101は、再びハンドリングシステム120に搬送され、カセット102の空き部分に収納される。収納している全ウェハ101について以上の工程が終了したカセット102は、カセットポート110か

ら取出され、次工程へ搬送される。

【0045】図2は、図1の平坦化研磨装置100における加工部132の詳細を示す一部断面側面図である。この加工部132は、加工テーブル150、加工ヘッド160、および研磨状態測定部200を主構成要素として有している。

【0046】加工テーブル150は、ウェハ101を載置固定して回転させると共にX方向に移動させる機能を有する。台盤151の上面には、ウェハ101を真空吸着するウェハチャック152が配設され、台盤151の下面には、X軸ボールナット153を有する支持部154が配設されている。

【0047】そして、X軸ボールナット153には、X軸サーボモータ155が連結され、X方向に伸びるX軸ボールネジ156が螺合されている。また、台盤151の上方には、研磨液を供給するためのノズル157が配設されている。なお、図示していないが、台盤151には、ウェハチャック152を回転させる機構が内蔵されている。

【0048】加工ヘッド160は、Z方向に移動して、加工テーブル150に固定されているウェハ101を2段階で化学的機械研磨する機能を有する。ウェハ101と略同径の円盤状のバフ161と、バフ161の径より大きい内径を有する円環状のホイール162が、同軸、即ち同心円状に配設されている。そして、バフ161は、円環状のメタル定盤163の下面に接着固定され、ホイール162は、円環状のメタルツールフランジ164の下面に接着固定されている。

【0049】メタル定盤163の中央孔には、シャフト165の一端が、軸受167を有するフランジ166を介して固定されている。フランジ166は、外周面がテーパ形状に形成されており、同様のテーパ形状に形成されているメタル定盤163の中央部の穴の内周面に嵌合して固定されている。メタルツールフランジ164の上面側には、等角度間隔で座ぐり168が設けられている。

【0050】座ぐり168の内部には、バネ169を有するピン170が、メタルツールフランジ164の下面側へ突き抜けるように挿入されている。そして、ピン170の先端は、メタル定盤163の上面に螺合されている。メタルツールフランジ164の上面には、主軸スピンドルモータ171を有する主軸スピンドル172が固定され、さらに主軸スピンドルモータ171の上部には、エアシリンダ173が固定されている。

【0051】シャフト165は、メタルツールフランジ164の中央孔から主軸スピンドル172、主軸スピンドルモータ171およびエアシリンダ173の中央部を通して突き抜けるように配設されている。そして、シャフト165の他端には、エアシリンダ173のピストン173aが固定されている。そして、シャフト165

は、研磨液を供給するために中空円筒状に形成されている。

【0052】主軸スピンドルモータ171の外周面には、Z軸ボールナット174を有する支持部175が配設されている。支持部175は、Z軸ガイド176に係止されており、Z軸ボールナット174には、Z軸サーボモータ177に連結され、Z方向に伸びるZ軸ボールネジ178が螺合されている。

【0053】そして、X軸サーボモータ155はコントローラ301による制御信号CTL1によりウェハ101のX軸方向の速度制御が行われ、主軸スピンドルモータ171はコントローラ301による制御信号CTL2により回転数が制御され、Z軸サーボモータ177はコントローラ301による制御信号CTL3により加工ヘッド160のZ軸方向の位置決め制御が行われる。

【0054】なお、図3は、加工ヘッド160が位置決め制御されて下降し、研磨状態になっている場合を示す図である。

【0055】このとき、メタル定盤163は、バネ169を圧縮し、バフ161の研磨面は、ホイール162の研磨面よりも突き出た状態となる。そして、バフ161の研磨面をウェハ101の表面に押しつけ、X軸サーボモータ155を駆動してX軸ボールネジ156を回転させ、支持部154を介して台盤151を往復移動させ、ウェハ101を化学的機械研磨する。なお、このときの研磨量の絶対値は、主にエアシリンダ173の圧力とバフ161のウェハ101に対する通過速度で制御することができる。

【0056】研磨状態測定部200は、検出装置180およびこの検出装置180に電気的に接続された制御装置190を備えている。検出装置180は、ウェハ101のたとえば研磨状態すなわち膜厚を光の干渉を用いて変化を検出する装置であり、受発光部181およびこの受発光部181に接続された光ファイバ182を備えている。

【0057】受発光部181は、制御装置190から入力した駆動信号をその大きさに対応した光に変換して、光ファイバ182を伝搬させた、たとえばハロゲンランプからなる光源の光と、ウェハ101の表面において反射され、光ファイバ182を伝搬してきた光の干渉縞を検知し、制御装置190に出力する。光ファイバ182は、2芯のファイバであり、ファイバ先端が、加工ヘッド160の隣接位置であって、ウェハ101のX方向の中心線上の例えば50mm～100mm上方の位置し、測定時にウェハ101の表面に向って、例えば1mmの距離に接近する。ウェハ101の表面に向かって固定されている。

【0058】制御装置190は、検出装置180からの検出値に基づいて、すなわち干渉縞に基づいて膜厚を測定し、これによりウェハ101の削り残り部分を認識

し、この削り残し部分と削り残し以外の部分の研磨条件を自動的に生成してフィードバックする装置である。

【0059】ここで、まず、ウェハ101の表面反射とウェハ101の研磨状態（削り残し部分および削り残し以外の部分）の関係について説明する。図4は、研磨後のウェハ101の膜厚状態の一例を示す図である。ウェハ101は、加工テーブル150で回転させられながら、回転している加工ヘッド160で研磨されるが、ウェハ101と加工ヘッド160の相対速度がその中心間距離によってことなるため、図4に示すように、同心円状に膜厚の不均一性が生じる。

【0060】このため、ウェハ101を加工テーブル150で回転させながら、ウェハ101の中心から外周に向かってX方向（半径方向）に膜厚を測定することにより、ウェハ101のX軸上の位置に対応した平均化された膜厚を得ることができる。以上のことから、ウェハ101上の膜厚プロファイルを得ることができる。

【0061】コントローラ301は、研磨装置全体を制御する機能を有し、特に、上述したように、制御信号CTL1をX軸サーボモータ155に供給してウェハ101のX軸方向の速度制御を行い、制御信号CTL2を主軸スピンドルモータ171に供給してその回転数を制御し、制御信号CTL3をZ軸サーボモータ177に供給して加工ヘッド160のZ軸方向の位置決め制御を行う。なお、加工ヘッド160のZ軸方向の位置決め制御は、換言すれば加工ヘッド160におけるバフ161のウェハ101の表面に対する押しつけ力（押し圧力；加工圧力）を制御するものである。

【0062】また、コントローラ301は、後で詳述するように、加工ヘッド160による所定のウェハ101に対する最適な加工条件を、複数の同種ウェハを用いて得られたデータ、具体的には、研磨状態測定部200で測定された被研磨対象の膜厚測定結果である研磨後データに基づいて予測し、次の研磨するウェハの研磨条件（研磨用レシピ）にフィードバックさせる。すなわち、コントローラ301は、装置の特性、加工ヘッド（バフ161を含むホイール）の特性、被研磨対象であるウェハの特性を把握し、これら特性データに基づいて、加工条件を算出し、所望の研磨結果を得るための最適な加工条件を自動的に得る。

【0063】なお、コントローラ301およびコントロールパネル302を有するコンピュータからなる制御部300は、たとえば図5に示すように、通信網、たとえばイーサネット（登録商標）（Ethernet（登録商標））400を介して平坦化研磨装置100と接続し、遠隔操作を行うことも可能である。

【0064】コントローラ301に接続されたコントロールパネル302は、オペレータが各種加工パラメータ、すなわちウェハ101のX軸方向の速度データ、主軸スピンドルモータ171の回転数データ、加工ヘッド

160のZ軸方向の位置決めデータ（加工圧力データ）等を入力したりするキーボード3021と、研磨状態測定部300で測定された被研磨対象であるウェハの膜厚測定結果や研磨の最適条件の計算結果等を表示するモニタ3022を有する。

【0065】本実施形態に係る平坦化研磨装置100では、ウェハ研磨後の膜厚を測定し、それを次に研磨するウェハの研磨条件にフィードバックすることにより、加工の安定性と残膜均一性を制御する。本実施形態では、均一性補正を、定量的に、スキルレスに行えるように、所定の条件に従ってCMP加工の複数の試料としての同種ウェハを用いてシミュレーションを行い、その結果から各種加工パラメータを最適化する。換言すれば、ウェハの膜除去量は、ホイール162の回転数、切り込み量、送り速度など、所定のレシピで設定されたパラメータで制御されるが、これらの中で、送り速度は除去量に対しておおよそニアナ特性を持つため、この送り速度を変化させることにより、均一な除去量をもたらすレシピをコントローラ301で自動的に生成する。以下に、本発明に係る平坦化研磨方法について、図面に関連付けながら順を追って説明する。

【0066】本研磨装置100の研磨時は、たとえば外径200mm、内径160mmのドーナツ状の硬質パッドホイール（バフを含む）を垂直軸（主軸）に対し、数十ミクロン傾斜させて（傾斜角 θ をもって傾斜させて）ウェハ101に接触させている。このときの、ホイールとウェハの接触状態は幾何学的には、図6および図7に示す通りである。そして、たとえばホイール162は320rpmで、ウェハチャック152は60rpmの回転速度で回転される。これにより、バフ161の狭小な部分がウェハ101に摺接して、局所的な研磨の補正を可能としている。さらに、コントローラ301の制御信号CTL1により、X軸サーボモータ155に供給して、図7に示すウェハ101のX軸方向の速度制御、すなわち送り速度の制御が行われる。

【0067】なお、本実施形態に係るホイールのバフは、発泡ポリウレタンなどの多孔質粘弾性材や不織布等の研磨布から構成される、研磨工具、研磨砥石、研磨ホイールや積層フィルムなどの固定砥粒を有する研磨工具を指し、以下これらを研磨パッドPDと総称する。

【0068】またここでは、研磨パッドPDが、被研磨対象であるウェハ101の被研磨面に接面した位置よりさらに押し付けることを切り込みと、またその距離を切り込み量と称する。

【0069】図8は、本発明に係る平坦化研磨方法の具体的な処理を説明するためのフローチャートである。以下、この図8に関連付けて平坦化研磨方法の具体的な処理について順を追って説明する。

【0070】ステップST1
研磨パッドの中心位置と、被研磨対象を保持し回転駆動

させるウェハチャック152（実際は、台盤151に内蔵の回転機構）の回転中心との中心間距離を変化させつつ研磨を行う。所定の中心間距離（ X_0 ）にて切り込みを開始し、所定の中心間距離（ X_N ）にて切り込みを終了し、その間、研磨パッドPDは被研磨対象（ウェハ101）の被研磨面を摺接しながら移動してゆく。

【0071】具体的には、開始位置より終了位置までの区間をN個の小区間に区分し、小区間における研磨特性を得るために、切り込みを X_0 で開始し、 X_i で終了し、他の研磨パッドの送り速度 V_0^i 、回転数、被研磨対象の回転数の加工条件は固定したN+1個の加工条件を用意する（ $0 \leq i \leq N$ ）。すなわち、N+1枚の同種の被研磨対象（ウェハ101）を用意し、被研磨面の研磨膜厚を測定する。N+1枚の被研磨対象である各ウェハ101の被研磨面を、N+1個の加工条件のもと、具体的には、図9に示すように、それぞれの被研磨対象の対応して設定されたレシビ0～レシビNに基づいて各々研磨する。

【0072】たとえば、第1のウェハ～第N+1のウェハのN+1枚の同種ウェハを用いた場合、図9に示すように、第1のウェハに対してはレシビ0を用いて、研磨パッドPDを外周側の所定の中心間距離（ X_0 ）で接触

$$\Phi_i(x) = Th_i(x) - Th_{i-1}(x) \quad (1 \leq i \leq N) \quad \dots (1)$$

【0075】全区間 $[X_0, X_N]$ を摺接して研磨した場合の被研磨対象の抽研磨面の研磨量 T_c は、次のようになる。

$$T_c(x) = \sum_{i=1}^N \Phi_i(x) \quad \dots (2)$$

【0077】各小区間の研磨量は、各小区間における研磨パッドPDの送り速度 V^i に比例する。したがって、被研磨面の膜厚が所望の値にならなかった場合、各小区間における初期研磨パッドPDの送り速度 V_0^i を V^i

$$T_c(x, V^1, V^1, \dots, V^N) = \sum_{i=1}^N R_i(x) \cdot (V^i / V_0^i) \quad \dots (3)$$

【0079】ただし、 $R_i(x)$ は各小区間における研磨特性である。

【0080】ステップST2

位置を示すパラメータkに1を代入し、また、送り速度を変えたか否かを示すチェンジフラグ（ChangeFlag）を、変更していないことを示すFalseに設定する。

【0081】以下は、研磨パッドPDの送り速度 V^i を

させて直ちに非接触状態にする（離間させる）。第2のウェハの対してはレシビ1を用いて、研磨パッドPDを所定の中心間距離（ X_0 ）で接触させて、所定距離を摺接しながら移動させて内周側近傍の中心間距離（ X_1 ）で非接触状態にする（離間させる）。第3のウェハの対してはレシビ2を用いて、研磨パッドPDを所定の中心間距離（ X_0 ）で接触させて、所定距離を摺接しながら移動させて内周側近傍の中心間距離（ X_2 ）で非接触状態にする（離間させる）。以下同様にして、第N+1のウェハに対してレシビNを用いて、研磨パッドPDを所定の中心間距離（ X_0 ）で接触させて、所定距離を摺接しながら移動させて最内周の切り込み終了位置である所定の中心間距離（ X_N ）で非接触状態にする（離間させる）。

【0073】各被研磨対象である第1のウェハ～第N+1のウェハの被研磨面の研磨後の膜厚 $Th_i(x)$ （ $0 \leq i \leq N$ ）を膜厚状態測定部200により測定する。各小区間 $[X_{i-1}, X_i]$ （ $1 \leq i \leq N$ ）における研磨特性、 $\Phi_i(x)$ は、次式により得ることができる。

【0074】

【数1】

【0076】

【数2】

に変化させ、所望の値 $T_g(x, V^1, V^2, \dots, V^N)$ となるようにする。

【0078】

【数3】

決定する工程である。

【0082】ステップST3～ステップST8

各小区間の研磨特性から計算された被研磨対象の被研磨面の研磨量、 $T_c(x, V^1, V^2, \dots, V^N)$ と所望の研磨量、 $T_g(x)$ との差を、次のように、誤差関数Errにより評価する。

【0083】

【数4】

$$\begin{aligned} \text{Err} (V^1, V^2, \dots, V^N) \\ = \sum_k \{ Tg (X_k) \\ - Tc (X_k, V^1, V^2, \dots, V^N) \}^2 \\ \dots (4) \end{aligned}$$

【0084】総和は被研磨対象の被研磨面の測定点で取る。

【0085】N個の小区間のうちの任意の一つの小区間 $[X_{k-1}, X_k]$ ($1 \leq k \leq N$) の研磨パッドPDの送り速度 V^k を微小変化させ、変化前と変化後の誤差関数 Err の値 $\text{Err} (V^k)$ 、と $\text{Err} (V^k \pm \Delta V^k)$ を比較し、値が小さくなっていれば、 $V^k \pm \Delta V^k$ を新たな V^i の値とする (ST5)。値が小さくなっていないければ、送り速度 V^k を更新しない (ST6)。そして、ChangeFlagを送り速度を更新したことを示すTrueに設定する。すべての小区間の研磨パッドの送り速度 V^i を微小変化させても、 Err の値が変化しなくなった時点で、処理を終了する。

【0086】ステップST9

以上の処理を繰り返す、すべてのChangeFlagがTrueに設定された時点で処理を終了する。

【0087】なお、数値計算により求められた Err の値を最小にする最適な各小区間の研磨パッドPDの送り速度 V^i の値が現実的でない場合が考えられ、それを防ぐ拘束条件が必要となる。

【0088】まず、各小区間の研磨パッドの送り速度、 V^i は非負であること、各小区間の研磨パッドの送り速度 V^i は研磨パッドの送り速度の最大限界値を超えないことである。さらに、隣接する小区間の研磨パッドの送り速度の差が大きすぎ、研磨パッドの移動装置が追従できないことのないように、隣接小区間間の研磨パッドの送り速度の差を一定値以下に制限することが必要とされる。

【0089】隣接小区間間の研磨パッドの送り速度の差を制限するには、単にしきい値を設ける以外に、線型補間法やLagrangeの補間法を用いる方法もある。被研磨対象を保持し回転駆動させる手段であるウェハチャック152の回転中心との中心間距離 x と、研磨パッドの送り速度、 V の $X-V$ 平面上に、いくつか (M) の制御点 (X_c^k, V_c^k) を設ける ($1 \leq k \leq M < N$)。N個の各小区間における研磨パッドの送り速度 V^j ($1 \leq j \leq N$) から V_c^k を決定する方法は以下の式による。

【0090】

【数5】

$$V_c^k = \sum_{i=1}^N \frac{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (x_c^k - x_j)}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N (x_i - x_j)} V_i^1$$

【0091】M個の制御点の任意の一つの V_c^j の値を微小変化させ、逆にN個の各小区間の研磨パッドの送り速度 V^i を次のように算出する。

【0092】

【数6】

$$V^i = \sum_{j=1}^M \frac{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^M (x_j - x_c^k)}{\prod_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^M (x_c^j - x_c^k)} V_c^j$$

【0093】変化前と変化後の Err の値 $\text{Err} (V^i)$ と $\text{Err} (V^i \pm \Delta V^i)$ を比較し、値が小さくなっていれば $V_c^k \pm \Delta V_c^k$ を新たな V_c^k の値とする。すべての制御点の V_c^k を微小変化させても、 Err の値が変化しなくなった時点で、処理を終了する。

【0094】この方法は、区間数Nに対して、被研磨対象であるウェハの被研磨面の測定点数が少ない場合にも有用である。線形補間でも同様である。制御点数が多い場合、Lagrange補間は誤差が大きくなる為線形補間の方が望ましい。

【0095】上述したように、被研磨対象であるウェハの被研磨面の研磨は、回転させながら行なわれることから、被研磨対象であるウェハの被研磨面の膜厚は、被研磨対象であるウェハの回転中心より対称な分布をする。測定誤差の軽減を図るため、膜厚の測定値を被研磨対象であるウェハの中心より同一半径に沿った平均化処理を行う。

【0096】なお、被研磨対象の被研磨面の膜厚は、上述した光学的膜厚測定装置でなくとも、オフラインの膜厚測定器で測定しても構わない。

【0097】切削量は、切削面での圧力と、切削工具面と被切削面の相対速度に比例するといブレ斯顿 (Preston) の式より、研磨量を予測することができる。

【0098】ブレ斯顿の式

遊離砥粒による研磨加工においては、その除去量はブレ斯顿の式より、次の式で表される。

【0099】

【数7】

$$M = k P v t$$

【0100】ここで、M：除去量、k：研磨状態によって定まる比例定数、P：加工圧力、v：工具、被加工物間の相対速度、t：研磨時間を示している。

【0101】すなわち、切り込み量より研磨パッドPDと被研磨対象であるウェハの被研磨面との圧力分布を計算し、さらに研磨パッドPDの回転数と、被研磨対象であるウェハの回転数、および研磨パッドPDが被研磨対象に摺接する位置の被研磨対象の中心からの距離から相対速度を計算する。この計算結果に基づいて、研磨パッドPDが各位置にある時の研磨特性が得られる。ただし、計算では研磨量の絶対値が得られないので、その係数は実際に研磨した結果と比較して決定する必要がある。

$$T_c(X, C_1, C_2, \dots, C_N) = \sum_{i=1}^N R_i(x) \cdot (V^i / V_0^i) \cdot C_i$$

…(7)

る。

【0102】本方法では、上述したように、誤差関数Errの値がゼロになるように計算を進めてゆくが、実際には多様な誤差要因により、誤差関数Errの値はゼロにはならない。計算された加工条件での研磨予測と、実際の研磨結果とを再び比較し、その差異をフィードバックすることにより、累積誤差を最小限に抑え、より精度の高い制御を可能とする。決定された各小区間での研磨パッドの送り速度 V^i により、 $T_c(x)$ になる研磨結果が得られる筈である。

【0103】

【数8】

…(8)

【0104】ここで、 C_i ($1 \leq i \leq N$)は、各小区間における補正定数で、その初期値は1とする。

【0105】実際の研磨結果が $T(x)$ であったとする。計算された加工条件での研磨予測と実際の加工結果

$$\begin{aligned} Err2(C_1, C_2, \dots, C_N) \\ = \sum_i \{ T_c(X, C_1, C_2, \dots, C_N) \\ - T(X_i) \}^2 \end{aligned}$$

…(9)

【0107】このとき、前記の手法と同様な手法を用い、補正係数 C_i を決定する。すなわち、N個の補正小区間のうちの任意の一つの小区間の係数 $[X_{i-1}, X_i]$ ($1 \leq i \leq N$)の補正係数、 C_i を微小変化させ、変化前と変化後の誤差関数Err2の値 $Err2(C_i \pm \Delta C_i)$ を比較し、値が小さくなっていけば、 $C_i \pm \Delta C_i$ を新たな C_i の値とする。すべての小区間の補正

$$R'_i(x) = R_i(x) C_i \quad \dots (10)$$

【0109】この修正された新しい研磨特性 $R'_i(x)$ に基づいて、次研磨の研磨条件の研磨パッドの送り速度 V^i を決定する前記手法により、不特定な要因による誤差や、研磨パッドの磨耗などによる経時的変化による誤差を吸収することができ、さらに研磨精度の向上を図れる。

【0110】被研磨対象がパターンウェハの場合、被研磨対象がパターンの無いウェハで研磨した時の最適条件で研磨しても所望の研磨結果が得られない場合がある。これは研磨特性がパターンに依存するためである。この場合、パターンウェハを研磨した場合の研磨結果を $T(x)$ とし、前記手法により、パターンウェハ補正係数として、 C_i を決定し、パターンウェハを所望の膜厚で研磨することができる。

【0111】このように、本発明に係る平坦化研磨方法では、まず、装置の特性、研磨パッドの特性、被研磨対象の特性を把握し、この特性データに基づいて、加工条

との誤差関数は次のようになる。

【0106】

【数9】

係数 C_i を微小変化させても、誤差関数Errの値が変化しなくなった時点で、処理を終了する。このようにして得られた補正係数 C_i に基づき、新しい研磨特性 $R'_i(x)$ を決定する。

【0108】

【数10】

件を算出するため、所望の研磨結果を得るための最適な加工条件を自動的に得ることができ、数値制御化された研磨を容易にかつ高精度に行なうことが可能となる。

【0112】また、毎加工後に被研磨対象の被研磨面の膜厚を測定し、その結果をフィードバックすることにより、経時的変化による誤差を吸収することが可能となる。

【0113】また、パターンウェハの、研磨特性のパターン依存性を自動的に吸収することが可能となる。

【0114】次に、実際に実験を行った結果について説明する。

【0115】この実験において、各小区間*i*における研磨量を $\phi_i(x)$ とすると、全除去量Tは、次のように表すことができる。

【0116】

【数11】

$$T(x) = \sum R_i(x) \cdot (V_0^i / V^i) = \sum \Phi_i(x) \quad \dots (11)$$

【0117】ここで、 V_0^i は各小区間での初期の送り速度、 V^i は各小区間での送り速度、 R_i は各小区間での単位送り速度当たりの研磨特性を示している。

【0118】この実験では12枚のウェハを用いる。膜厚フィードバックを行うに当たって、各小区間の研磨量特性を知る必要がある。そこで、図10に示すような、初期研磨の初期レシピ0を用意する。初期レシピ0において、切り込み量 (Cut in) の単位はmm、送り速度 (Feeding) の単位はmm/sである。なお、本実験では、ホイールのモータの電流値を監視しながらトルクが一定になるような制御を行った。また、ホイール (回転パッド) 162は320rpmで、ウェハチャック152は60rpmの回転速度で回転される。

【0119】この初期レシピ0に基づいて、図11に示すように、各ポイントでホイール162を被研磨面 (ウェハ面) に非接触状態にさせる (離間させる) レシピ (recipe) 1~11を用意する。

【0120】ここでたとえば、レシピ1は、中心間距離-90でホイール (研磨パッドPD) を被研磨面 (ウェハ面) に接触させて直ちに非接触状態にする (離間させる) レシピであり、レシピ2は、中心間距離-90でホイール (研磨パッドPD) を被研磨面 (ウェハ面) に接触させ、所定距離を摺接しながら移動させて内周側近傍の中心間距離-80で非接触状態にする (離間させる) レシピである。この2つのレシピで研磨した結果の差分が、ホイール (研磨パッドPD) を-90から-80に移動させた間の除去量特性となる。レシピ11は、ホイール (研磨パッドPD) を被研磨面 (ウェハ面) の中心を過ぎた直後で非接触状態にする (離間させる) レシピである。フィードバック制御を行う際、均一性の最適化の解の一意性を考慮して、ホイール (研磨パッドPD) が被研磨面 (ウェハ面) の中心を通過する以前の送り速度のみを制御してフィードバックを行うため、初期レシピ0とレシピ11での研磨結果の差分は後半研磨の除去量特性としてまとめて扱うこととする。

【0121】図12は、これらのレシピ0~レシピ11に基づく研磨後の残膜を測定した結果を示す図である。図12において、横軸がX軸方向の位置 (-100~100) を、縦軸が研磨後の膜厚を表している。また、図12において、 T_{INI} で示す線が初期膜厚を、 $T0$ で示す曲線が初期レシピ0による残膜特性を、 $T1$ で示す曲線が初期レシピ1による残膜特性を、 $T2$ で示す曲線が初期レシピ2による残膜特性を、 $T3$ で示す曲線が初期レシピ3による残膜特性を、 $T4$ で示す曲線が初期レシピ4による残膜特性を、 $T5$ で示す曲線が初期レシピ5

による残膜特性を、 $T6$ で示す曲線が初期レシピ6による残膜特性を、 $T7$ で示す曲線が初期レシピ7による残膜特性を、 $T8$ で示す曲線が初期レシピ8による残膜特性を、 $T9$ で示す曲線が初期レシピ9による残膜特性を、 $T10$ で示す曲線が初期レシピ10による残膜特性を、 $T11$ で示す曲線が初期レシピ11による残膜特性をそれぞれ示している。

【0122】そして、図13は、これらのレシピ0~レシピ11に基づく研磨結果から求めた除去量特性を示す図である。なお、この際、除去量特性がほぼ中心対象になることから、被研磨対象 (ウェハ) の中心に対して折り返し平均を行い、さらに測定雑音を除去するフィルタリングを行った。

【0123】図13において、横軸がX軸方向の位置 (-100~100) を、縦軸が研磨後の膜厚を表している。また、図13において、①で示す曲線が初期膜厚からレシピ1に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、②で示す曲線がレシピ1に基づく残膜厚からレシピ2に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、③で示す曲線がレシピ2に基づく残膜厚からレシピ3に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、④で示す曲線がレシピ3に基づく残膜厚からレシピ4に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑤で示す曲線がレシピ4に基づく残膜厚からレシピ5に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑥で示す曲線がレシピ5に基づく残膜厚からレシピ6に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑦で示す曲線がレシピ6に基づく残膜厚からレシピ7に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑧で示す曲線がレシピ7に基づく残膜厚からレシピ8に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑨で示す曲線がレシピ8に基づく残膜厚からレシピ9に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑩で示す曲線がレシピ9に基づく残膜厚からレシピ10に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑪で示す曲線がレシピ10に基づく残膜厚からレシピ11に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、⑫で示す曲線がレシピ11に基づく残膜厚からレシピ0に基づく残膜厚を減算した除去量特性を、それぞれ示している。

【0124】この場合、得られた研磨特性関数 $R_i(x)$ を各区間の送り速度 V^i と共に畳み込みをとったものがターゲットとなる膜厚 $Tg(x)$ に近くなるように、すなわち、下記の式 (12) で Err が最小となるように、すなわち最小自乗法で送り速度 V^i を決める。

【0125】

【数12】

$$\begin{aligned} \text{Err} (V^1, V^2, \dots, V^M) \\ = \sum_i \{ Tg(x) - \sum_i R_i(x) \cdot V_0^i / V^i \}^2 \end{aligned}$$

... (12)

【0126】このように新しい送り速度 V^i が求められる。ここで、初期送り速度と新しく算出された送り速度の比であるオーバーライド係数 k_i を定義する。

$$k_i = V^i / V^1$$

... (13)

【0128】新しい送り速度でのコントローラ301上の量み込み計算の結果である研磨予測と実際の研磨による加工結果とは、ずれが生じる。これを以下の手順で順次補正して行く。第M世代のオーバーライド係数 k_i

$$F_i(x) = \sum_i R_i(x) \cdot V_0^i / V^i \cdot k_i$$

... (14)

【0130】実際の研磨により得られた膜厚が $T_M(x)$ であったとすると、既得の研磨特性関数 R_i で実際の研磨による膜厚になるようなオーバーラ

$$T_M(x) \approx \sum_i R_i(x) \cdot V_0^i / V^i \cdot K_i$$

... (15)

【0132】そして、次の誤差関数 $\text{Err}2'$ を最小とするように最小自乗法によりオーバーライド係数 K_i を決める。

$$\begin{aligned} \text{Err}2' (K_1, K_2, \dots, K_M) \\ = \sum_i \{ \sum_i R_i(x) \cdot V_0^i / V^i \cdot K_i - T_M(x) \}^2 \end{aligned}$$

... (16)

【0134】量み込み計算の結果である $F_M(x)$ と、実際の研磨により得られた膜厚 $T_M(x)$ が異なる故、係数 K_i と k_i は同じ値にならず、次のようにその誤差を研磨特性関数特性 R_i に起因させ、修正

$$R_{i+1}(x) = R_i(x) \cdot (K_i / k_i) \quad \dots (17)$$

【数18】

【0136】

$$T_M(x) \approx \sum_i R_{i+1}(x) \cdot V_0^i / V^i \cdot k_i \quad \dots (18)$$

【0137】この新しい研磨特性関数で量み込みを行えば、実際の除去量により近い予測値が得られる。この新しい除去量特性関数を基にターゲットのプロファイル $Tg(x)$ を持つウェハを生成するための次の世代のオー

$$Tg(x) \approx F_{M+1}(x) = \sum_i R_{i+1}(x) \cdot k_{i+1} \cdot V_0^i / V^i$$

... (19)

【0139】得られたオーバーライド係数 k_{i+1} より、第M+1代のレシピの送り速度を次のように決定する。

$$V_{M+1}^i = V_M^i / k_{i+1}$$

... (19)

【0141】そのレシピで研磨したウェハの加工結果と F_{M+1} とを比較し、同様な計算を繰り返す。この繰り返しにより、実際の研磨結果とターゲットとは近づき、収束して行く。

【0127】
【数13】

と研磨特性関数 R_i から次式の量み込み計算結果が得たとする。

【0129】
【数14】

イド係数 K_i を求める必要がある。

【0131】
【数15】

【0133】
【数16】

する。

【0135】
【数17】

オーバーライド係数 k_{i+1} を再び最小自乗法で求める。

【0138】
【数19】

【0140】
【数20】

【0142】以上の実験では、図14および図15に示すように、ターゲットを5000オングストロームとして、3回の繰り返し研磨ではほぼ所望の残膜に到達した。均一性はエッジから20mmでの値であるが、1.48

%と非常に良い結果を得ることができた。レシピはフィードバックが最適な条件に収束した後は殆ど変化しない。

【0143】なお、図14において、横軸がX軸方向の位置(-100~100)を、縦軸が研磨後の膜厚を表している。また、図14において、①で示す曲線が初期レシピによる残膜特性を、②で示す曲線が第1世代の生成レシピによる残膜特性を、③で示す曲線が第2世代の生成レシピによる残膜特性を、④で示す曲線が第3世代の生成レシピによる残膜特性をそれぞれ示している。

【0144】以上説明したように、本実施形態によれば、研磨パッドと被研磨対象の被研磨面を所定方向に相対移動して当該被研磨面が平坦となるように研磨する研磨方法であって、複数の同種の被研磨対象を試料として用意し、各試料毎に加工開始位置を順次ずらした加工条件により、研磨を行い、各加工位置における研磨特性を得、得られた研磨パッドの各加工位置での加工特性から、研磨結果を予測し、新たな加工条件を調整し、次の研磨にフィードバックするようにしたので、作業者の技能により左右されることなく、均一な膜厚を得ることができ、安定して高い加工精度を得ることができる。

【0145】次に、上記構成による研磨装置の動作を図3、図16、および図17のフローチャートに関連付けて説明する。ここでは、ウェハ101とウェハとホイール(パフを含む)の幾何的形状と、プレストンの研磨法則から理論的に得られる除去量をシミュレーションし、各種入力パラメータに対する、均一性変化状態を、理論上から定量的に関連付けたデータがコントロールパネル302からコントローラ301に対して入力される。なお、装置においては主軸傾きは所定の傾きに設定されている。

【0146】コントローラ301では、たとえば制御信号CTL1がX軸サーボモータ155に供給されてウェハ101のX軸方向の速度制御が行われ、制御信号CTL2が主軸スピンドルモータ171に供給されその回転数を制御し、制御信号CTL3がZ軸サーボモータ177に供給されて加工ヘッド160のZ軸方向の位置決め制御が行われる。

【0147】ここで、パフ161としては、たとえば軟質パフ、その研磨液としては、たとえば硝酸(HNO_3)等のエッチャントの薬液が使用される。また、ホイール162としては、たとえば硬質アルミナ砥粒(Al_2O_3 、粒子径 $0.35\mu\text{m}$ 、比重1.61)が固定化された硬質ホイール、その研磨液としては、たとえば10wt%のアルミナ砥粒(Al_2O_3 、粒子径 $0.16\mu\text{m}$ 、モース硬度8.0)を3%の過酸化水素(H_2O_2)で分散させたスラリー(pH4.8)が使用される。なお、このホイール162とスラリーによる研磨によると、銅(Cu)、タンタル(Ta)、二酸化珪素(SiO_2)の各研磨速度は、 $1200\text{Å}/\text{min}$ 、

$130\text{Å}/\text{min}$ 、 $60\text{Å}/\text{min}$ 以下となる。

【0148】最初に、所定のレシピに基づいてパフ(研磨パッド)161を用いた研磨を行い(図3参照)、その後、研磨状態測定部200での測定を行い、その測定結果に基づいて、ホイール162を用いた研磨を行う(図16参照)。

【0149】まず、ウェハチャック152にウェハ101を真空吸着させたら、X軸サーボモータ155を駆動してX軸ボールネジ156回転させ、ウェハ101が所定の研磨開始位置になるまで、支持部154を介して台盤151を移動させる。そして、台盤151に内蔵されている回転機構を駆動してウェハチャック152を介してウェハ101を回転させる。同時に、主軸スピンドルモータ171を駆動して主軸スピンドル172を介してホイール162を回転させ、さらにピン170を介してパフ161を回転させる。

【0150】次に、Z軸サーボモータ177を駆動してZ軸ボールネジ178を回転させ、ホイール162の研磨面が、ウェハチャック152に真空吸着されているウェハ101の表面から所定の間隔を開けた状態になるまで、支持部175をZ軸ガイド176に沿って下降させる。そして、薬液を図示しない供給装置からシャフト165の中空部およびメタル定盤163の溝163aを介してパフ161へ供給する。同時に、エアシリンダ173のシリンダ173bに設けられている加圧側供給口173cにエアーを供給し、ピストン173aおよびシャフト165を介してメタル定盤163を下降させる。

【0151】このとき、メタル定盤163は、バネ169を圧縮し、パフ161の研磨面は、ホイール162の研磨面よりも突き出た状態となる。そして、パフ161の研磨面をウェハ101の表面に押しつけ、X軸サーボモータ155を駆動してX軸ボールネジ156を回転させ、支持部154を介して台盤151を往復移動させ、ウェハ101を化学的機械研磨する。なお、このときの研磨量の絶対値は、主にエアシリンダ173の圧力とパフ161のウェハ101に対する通過速度で制御することができる(STP1)。

【0152】この研磨終了後は、薬液の供給を停止し、図示しないノズルを介してウェハ101の表面に純水および薬液を供給し、ウェハ101の表面に残存している研磨液やパーティクルを洗浄除去してリンスおよび酸化防止する(STP2)。

【0153】続いて、エアシリンダ173のシリンダ173bに設けられている退避側供給口173dにエアーを供給し、ピストン173aおよびシャフト165を介してメタル定盤163を上昇させ、パフ161の研磨面をウェハ101の表面から離す。このとき、メタル定盤163の上面は、メタルツールフランジ164の下面にバネ169の復元力により押しつけられており、パフ161の研磨面は、ホイール162の研磨面よりも引込

んだ状態となる。

【0154】そして、ウェハ101の研磨状態を測定するために、X軸サーボモータ155を駆動してX軸ボールネジ156を回転させ、ウェハ101の中心($x=0$ mm)が光ファイバ182の直下の位置になるまで、支持部154を介して台盤151を移動させる。この位置決め完了後、光ファイバ182の先端をウェハ101の表面に接近させ、受発光部181で発光させた光を光ファイバ182を介してウェハ101の表面に照射し、その反射光を光ファイバ182を介して受残光部181で受光して、光源の光とウェハ101の表面において反射光の干渉縞の検知し、これに基づき膜厚を測定する(STP3)。

【0155】得られた、膜厚の測定結果に基づいて、X軸サーボモータ155による次のウェハ研磨の送り速度パターンを算出する(STP4)。

【0156】以上のように、ウェハ101の研磨状態を測定し、次に研磨するウェハにフィードバックする手法をとっているため、従来のように時間管理のみでプロセスを組む場合と比べ、ウェハ101全面をアンダーポリッシュが無く、オーバーポリッシュを少なくした研磨が可能となり、研磨精度や研磨安定性を向上させることができる。また、従来はバラツキを見越してプロセスを組んであるため、不必要なマージンを設定してあり、前後プロセスへの要求スペックが厳しくなることや、十分なデバイス特性が発揮できない等の弊害があったが、上記実施形態によれば、プロセスマージンの拡大、歩留りの向上、コストダウンを図ることができる。また、従来の研磨条件だしのときには熟練したオペレータの経験や勘に頼ることが多く、またその作業も手間が掛かっていたが、上記実施形態によれば、自動化が可能となり、メンテナンスのスキルレス化が可能となる。

【0157】なお、本実施形態では、機内で光の干渉を用いて膜厚の分布測定をすることにより除去の必要な部分を機上で測定し、その結果からその部分を加工する条件を自動で作成するシステムについて説明したが、たとえば、ILDのCMPでは機内で膜厚の光学測定をすることにより除去の必要な部分を機上で測定し、その結果からその部分を加工する条件を自動でフィードバックすることで、CMPのグローバルな加工精度、安定性を補正向上させるシステムとすることも可能である。

【0158】

【発明の効果】以上に述べたように、本発明によれば、所望の研磨結果を得るための最適な加工条件を自動的に得ることができ、数値制御化されたカンマを、作業者の技能により左右されることなく、容易にかつ安定して高い加工精度を得ることができる利点がある。

【0159】また、本発明によれば、毎次加工後に被研磨対象の被研磨面の膜厚を測定し、その結果をフィードバックすることにより、経時的変化による誤差を吸収す

ることが可能となる。また、パターンウェハの、研磨特性のパターン依存性を自動的に吸収することが可能となる。本発明の膜厚フィードバック法により、最適な研磨条件を自動的に求め、高い均一性を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る平坦化研磨装置の実施形態の全体構成を示す平面図である。

【図2】図1の平坦化研磨装置における加工部の詳細を示す一部断面側面図である。

【図3】図1の平坦化研磨装置の動作例を示す断面側面図である。

【図4】研磨後のウェハの膜厚状態の一例を示す図である。

【図5】遠隔制御の基本構成を説明するための図である。

【図6】ホイールとウェハの接触状態を幾何学的に示す図である。

【図7】ホイールとウェハの接触状態を幾何学的に示す図である。

【図8】本発明に係る平坦化研磨方法の具体的な処理を説明するためのフローチャートである。

【図9】被研磨面(ウェハ面)に非接触状態にさせる(離間させる)レシピ(recipe)を説明するための図である。

【図10】初期研磨の初期レシピ例を示す図である。

【図11】初期レシピに基づいて用意する被研磨面(ウェハ面)に非接触状態にさせる(離間させる)レシピ(recipe)1~11を説明するための図である。

【図12】レシピ0~レシピ11に基づく研磨後の残膜を測定した結果を示す図である。

【図13】レシピ0~レシピ11に基づく研磨結果から求めた除去量特性を示す図である。

【図14】繰り返し研磨の実験結果を示す図である。

【図15】繰り返し研磨のレシピ生成回数と均一性との関係を示す図である。

【図16】図1の平坦化研磨装置の動作例を示す第3の断面側面図である。

【図17】図1の平坦化研磨装置の動作例を示すフローチャート図。

【図18】従来例に係るデュアルダマシン法による銅配線の形成方法を説明するための断面図である。

【図19】従来例に係るデュアルダマシン法による銅配線の形成方法を説明するための断面図である。

【図20】従来の平坦化研磨装置の概略を示す斜視図。

【図21】CMP法による銅膜研磨構成における課題を説明するための図である。

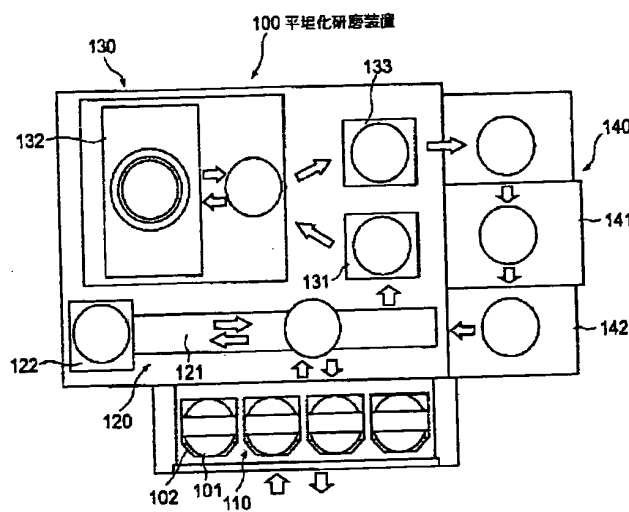
【図22】CMP法による銅膜研磨構成において発生するスクラッチおよびケミカルダメージを説明するための図である。

【符号の説明】

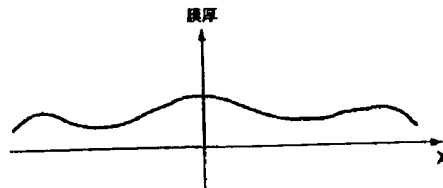
100…研磨装置、101…ウェハ、110…カセット
ポート、120…ハンドリングシステム、130…ポリ
シングヘッド、132…加工部、140…クリーナ、1
50…加工テーブル、151…台盤、152…ウェハチ
ャック、153…X軸ボールナット、154…支持部、
155…X軸サーボモータ、156…X軸ボールネジ、
157…ノズル、160…加工ヘッド、161…バフ、
162…ホイール、163…メタル定盤、164…メタ
ルツールフランジ、165…シャフト、167…フラン

ジ、168…座ぐり、169…ネジ、170…ピン、1
71…主軸スピンドルモータ、172…主軸スピンド
ル、173…エアシリンダ、174…Z軸ボールナッ
ト、175…支持部、176…Z軸ガイド、177…Z
軸サーボモータ、178…Z軸ボールネジ、180…検
出装置、181…受発光部、182…光ファイバ、19
0…制御装置、200…研磨状態測定部、300…制御
部、301…コントローラ、302…コントロールパネ
ル、3021…モニタ、3022…キーボード。

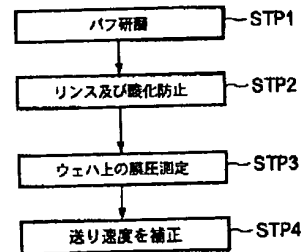
【図1】



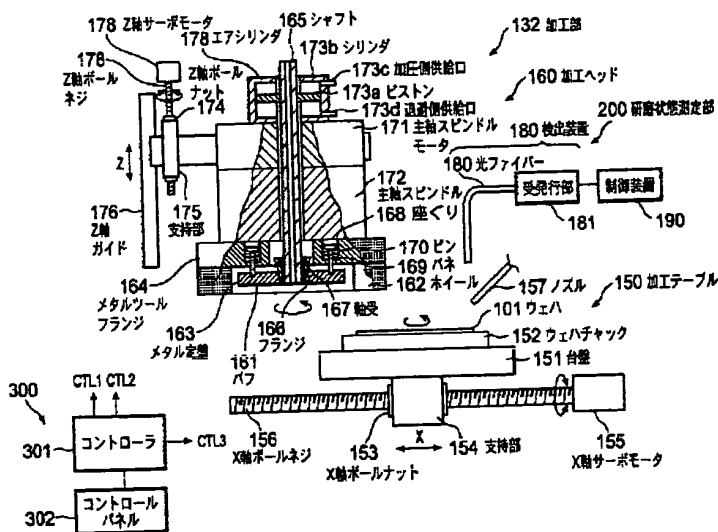
【図4】



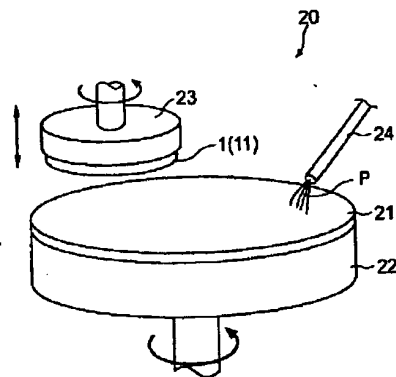
【図17】



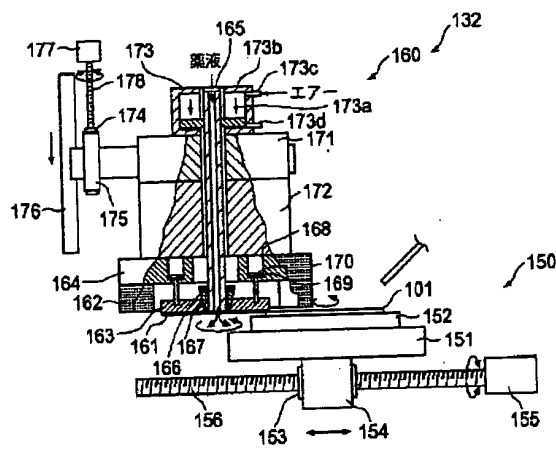
【図2】



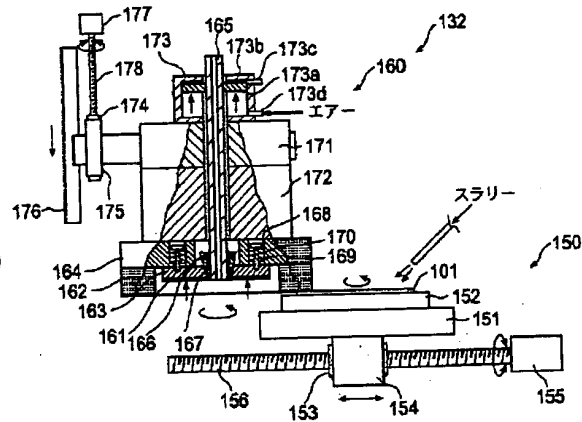
【図20】



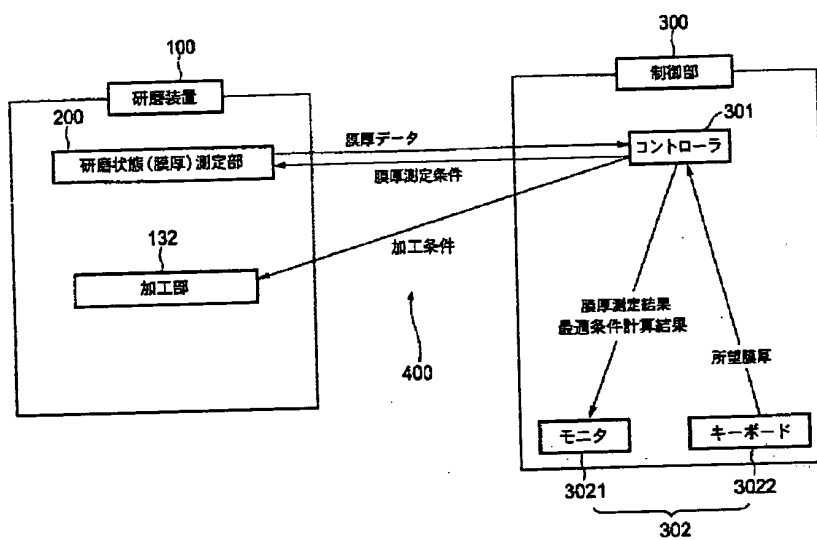
【図3】



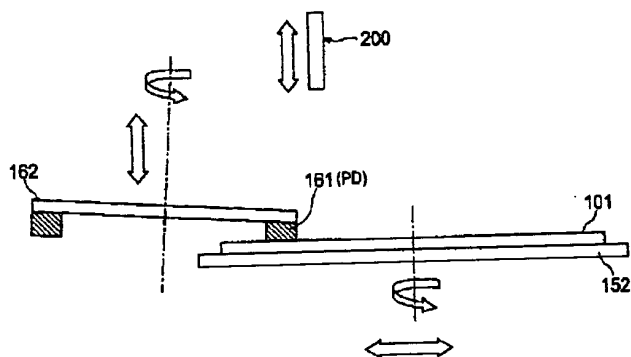
【図16】



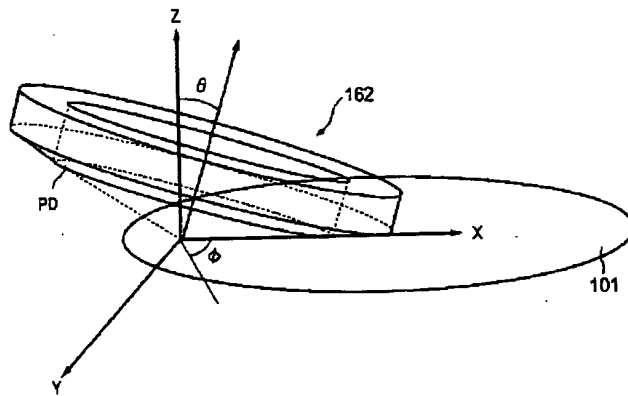
【図5】



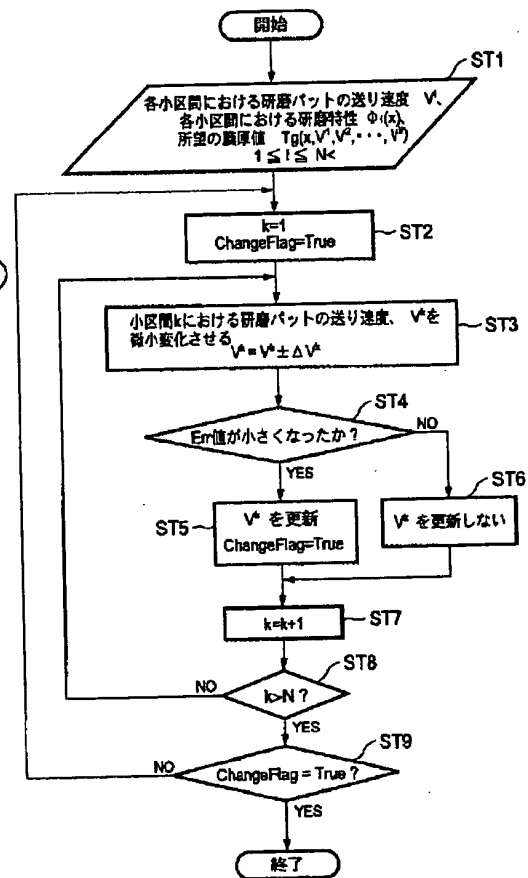
【図6】



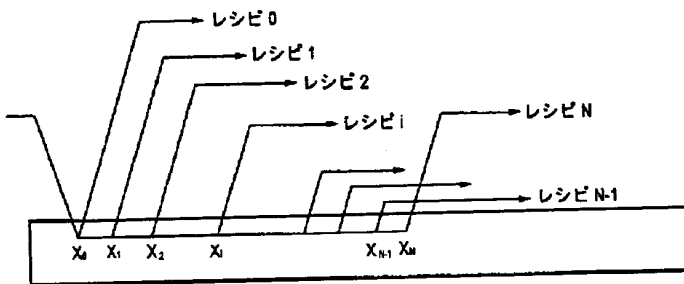
【図7】



【図8】



【図9】



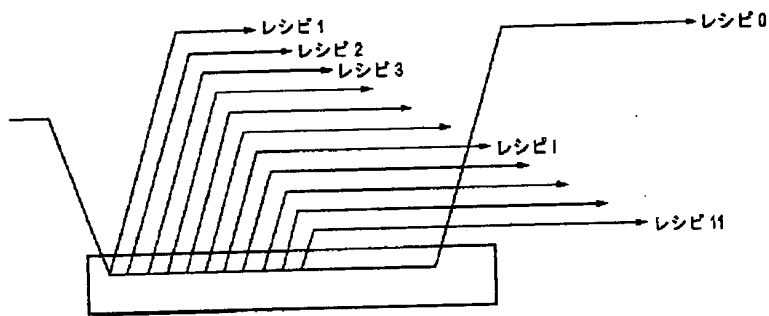
【図10】

Initial Recipe

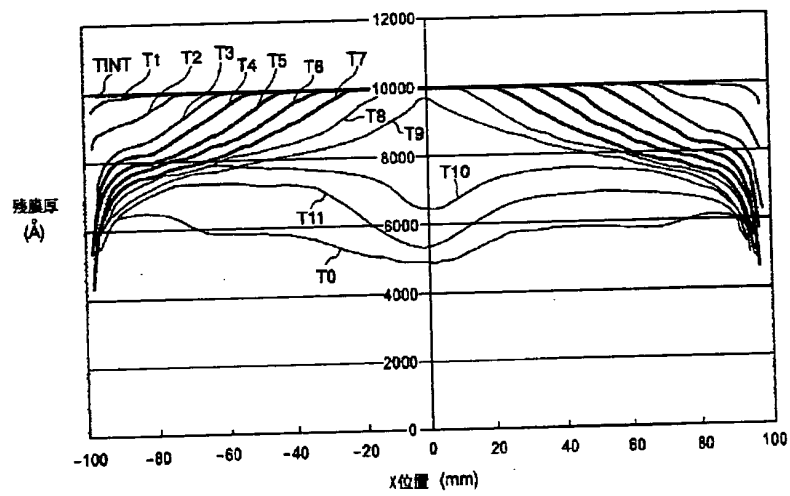
	-110	-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
CutIn	-200	-200	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	0	-200
Feeding	999	999	45	45	80	80	88	75	80	83	85	85	90	120	140	150	160	170	180	999	999

Spindle revolution 320rpm
Table revolution 60rpm

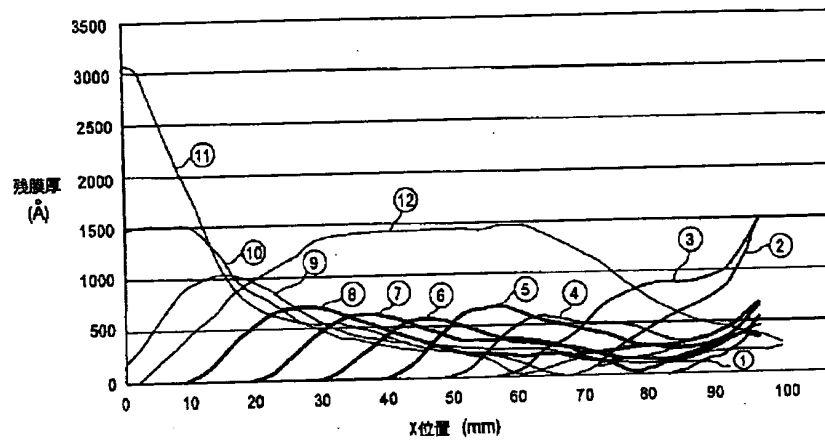
【図11】



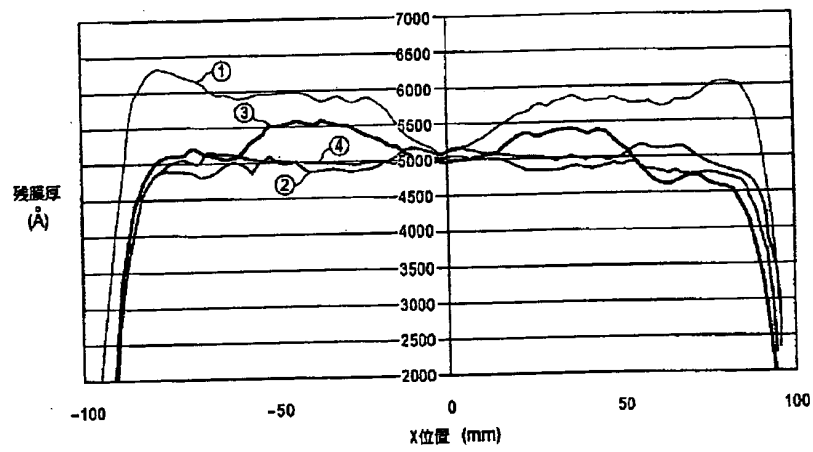
【図12】



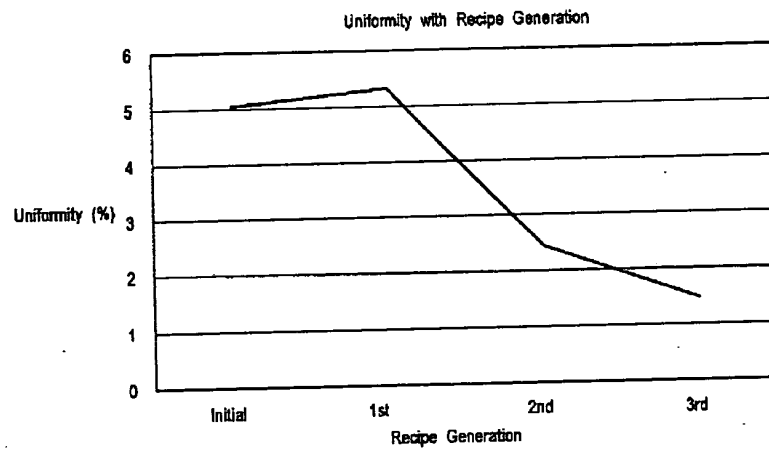
【図13】



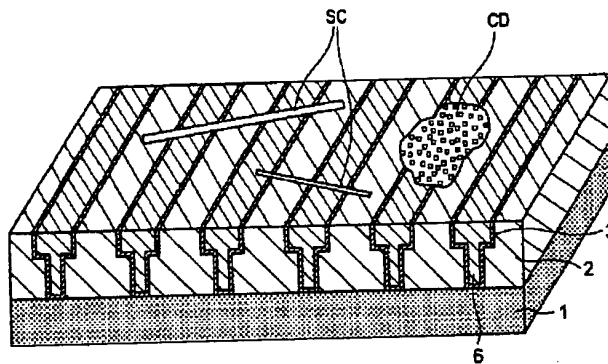
【図14】



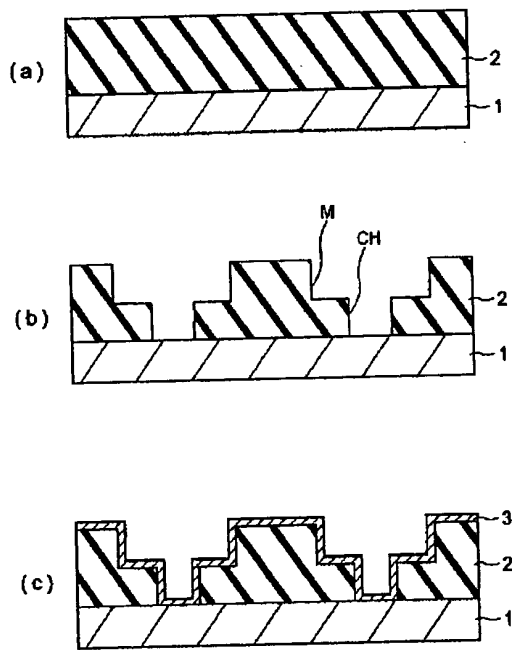
【図15】



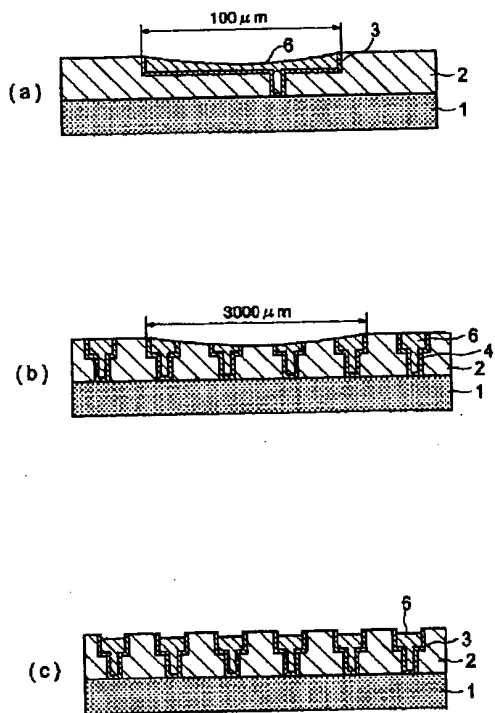
【図22】



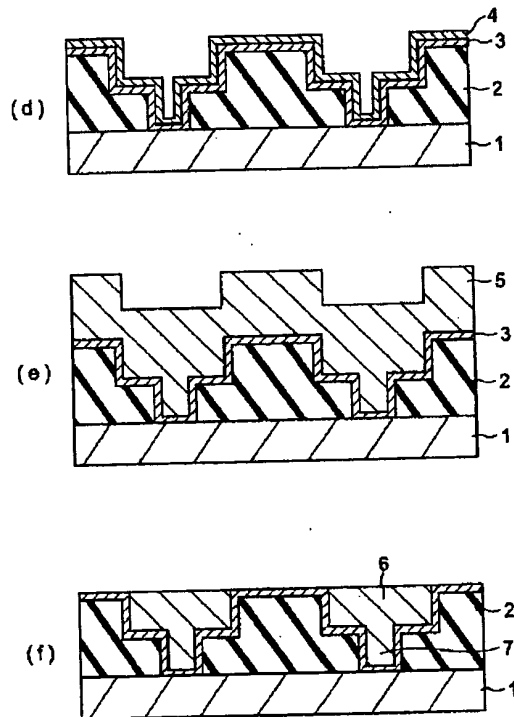
【図18】



【図21】



【図19】



フロントページの続き

Fターム(参考) 3C034 AA19 CA03 CA22 CB01 DD01
3C058 AA07 AA11 AA13 BA02 BB06
BB09 CB01 CB03 DA17